

硅铁生产节能工艺措施

向天虎 陆雪生

(重庆鑫腾冶金炉料有限责任公司 重庆 中国 401220)

摘要 针对重庆鑫腾冶金炉料公司 12.5MVA 硅铁电炉原料发生变化的情况,分析了生产工艺相关因素,提出了改善和稳定炉况的工艺措施。通过一年的实践,保持了良好稳定的炉况,达到了提高电炉热效率和电效率,提高 Si 元素收得率的节能效果。

关键词 硅铁 生产 节能 工艺

中图分类号 TF645.3 文献标识码 B 文章编号 1001-1943(2004)06-0018-04

MEASURES OF ENERGY SAVING FOR FERRO-SILICON PRODUCTION

Xiang Tianhu Lu Xuesheng

(Chongqing Xinteng Metallurgical Charging Material Co., Ltd., Chongqing, China 401220)

Abstract Based on the raw material change of 12.5MVA ferrosilicon furnace in Xinteng melting Burden Co., Ltd. Chongqing, it analyses related factors of production technology, proposes technology measures of improving and stabilizing furnace performance. After one year's practice, it keeps well and stably furnace performance, reaches the energy saving effect of improving furnace heat efficiency, electric efficiency and recovery percent of Si.

Keywords ferrosilicon, production, energy saving, production technology

硅铁是一种高能耗产品,因此硅铁节能降耗具有非常现实的重要意义。

硅铁节能途径可以概括为生产过程节能,能源回收利用,加强能源管理三个方面,而前者是主要的。文章从生产工艺出发进行分析,提出措施以改善炉况、提高热效率和电效率、提高元素收得率,从而达到节能的目的。

1 电炉参数的优化调整

电炉参数的确定与冶炼品种、原料性能、操作方法等有关,当原料发生较大变化后,必须考虑电炉参数的重新选择。熔点高、抗爆性好的硅石可选用极心圆功率密度大、电压较高的电炉参数;熔点低、抗爆性差的硅石要适当降低极心圆功率密度和电压等级。重庆鑫腾炉料公司硅铁生产原料中硅石品种较多,其质量和性能见表1。随着原料理化性能的改变而炉况发生较大的变化,炉料板结,透气性差,渣量增大,电极难以深插,为此进行了电炉参数的优化调

整。

通过观测三相电极熔料区大小和炉心熔料情况,可以判断极心圆直径是否合适。极心圆过大,炉心不熔料,三相坩埚不通;极心圆过小,电极难以深插,炉心温度过高、熔料快,硅挥发损失增加。合适的极心圆直径既能使三相坩埚相通,又不造成炉心温度过高。通过表2的比较选取极心圆直径 2 600~2 650 mm,然后再对电压进行优选,电压过高,电极下插不稳,电压过低,负荷难以用足,坩埚难以扩大,合适的电压既能使电极稳插,又能达到较大坩埚。

通过表3的比较,认为二次电压选取 144~148V 比较合适,在生产中根据实际系统电压高低调整二次电压等级,通过加料方式调整极心圆直径,以满足冶炼工艺要求。

2 原料的优化调整

2.1 不同性能的硅石合理搭配

该公司生产硅铁所使用的硅石产地较多,其质

作者简介 向天虎 男,1966年7月出生,1989年毕业于重庆钢铁专科学校炼钢专业,工程师。现从事生产技术管理工作。

收稿日期 2004-07-08

表 1 各种硅石质量和物理性能
Tab.1 Quality and physical property of various silica

品种	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	灼烧	物理性能		
							强度	搞爆性	熔点/℃
秭归	97.46	0.77	0.45	0.27	0.13	0.68	较好	较好	1750
合川	97.09	0.9	0.56	0.36	0.19	0.66	一般	一般	1730
江津	96.78	0.87	0.78	0.41	0.16	0.79	一般	一般	1700~1730
彭水	97.18	0.86	0.59	0.32	0.18	0.66	差	差	1700

表 2 12.5MVA 硅铁电炉不同极心圆的炉况比较
Tab.2 Furnace operating conditions comparison of various electrode circle in 12.5 MVA ferrosilicon furnace

极心圆直径/mm	炉心化料	刺火现象	透气性	电极插入深度	死料区	铁水流	渣量	三相负荷	产量/(t/d)	电耗/(kWh/t)
2500	太快	多	差	浅	多	小	多	不平衡	19	10290
2700	慢	多	较差	不稳	较多	较小	较多	不平衡	21	9832
2650	合适	较少	均匀	深且稳	极少	大	少	平衡	27.35	8551

表 3 12.5MVA 硅铁电炉不同电压炉况正交比较
Tab.3 Orthogonal comparison of various furnace operating conditions based on voltage in 12.5 MVA ferrosilicon furnace

二次电压/V	负荷	电极插入深度	化料速度	熔料区	炉温	铁量	渣量	电耗/(kWh/t)
140	用不足	逐渐上抬	慢	小	低	少	积渣	8871
144	正常	深且稳	合适	大	高	大	少	8506
148	过大	不稳	过快	大	较高	较大	较多	8765

量和理化性能差异较大。由于生产中硅石品种不断变化,使炉况产生较大波动甚至恶化,如采用全彭水硅石时,矿石熔点低,强度和抗爆性差,使料面易烧结,透气性差,电极难深插,化料速度大于还原速度;采用全江津硅石时,矿石品位低,杂质含量高,因此渣量大,产量低;仅秭归和合川硅石可单独使用。为此根据硅石不同性能合理搭配,如彭水:合川=1:1,彭水:秭归=1:1,彭水:江津=1:1等可以克服各种矿石缺点,使炉况顺行。

2.2 调整矿石粒度

根据硅石物理性能的差异调整硅石粒度,秭归矿强度和抗爆性好、熔点高,为了有利于还原反应,其粒度控制为 40~90 mm 为好;合川和江津矿强度、抗爆性次之,为了兼顾炉料透气性和还原反应,其粒度控制以 50~100 mm 为好;彭水矿强度、抗爆性差,熔点低,为了改善炉料透气性,其粒度控制以 60~100 mm 为好。

2.3 还原剂粒度的调整

还原剂因强度和水分差异,破碎后平均粒度产生变化,强度低、水分重的还原剂破碎后粉末多,平均粒度偏小。机焦强度高要求破碎粒度 8~20 mm,

蓝炭强度较差要求破碎粒度 10~30 mm。水分重的焦炭破碎粒度可适当增加 1~2 mm。

2.4 还原剂合理搭配

根据还原剂理化性能的不同,兰炭比电阻、反应性能好于焦炭,而焦炭固定碳和强度好于蓝炭的各自特性合理搭配,可改善炉况;提高经济技术指标,一般蓝炭搭配比例为 40%左右对改善炉况较好。

2.5 还原剂配入量的调整

还原剂配入量过多或过少会产生不正常炉况,影响冶炼效果。理论和实践表明,用碳量和硅的收得率之间的关系如图 1 所示。用碳量越接近理论值,硅收得率就越高,电耗就越低。

同时配碳量也会对炉渣成分产生影响,由于该公司原料质量较差,生产中有一定的渣量产生(即小渣量工艺控制),为了能使炉渣顺利排出,保持炉况正常稳定,必须调整好炉渣成分,一般要求炉渣中 SiC 和 Al₂O₃ 含量要低, SiO₂ 以 30%~40% 为宜,当配碳量过多时,渣中 SiC 高,炉渣过稠而不易排出;当配碳量过少,使渣中 SiO₂ 过高而变粘也难以排出。

在该公司硅铁冶炼习惯性操作中焦炭浪费大,过剩量多,不利于电极稳定,为此要求合理调整用

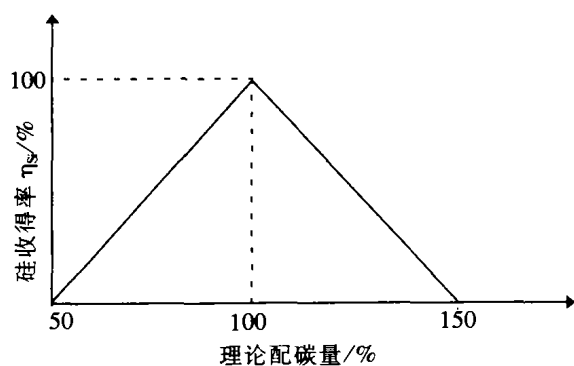


图1 75%硅铁配碳量对硅收得率的影响

Fig.1 The effect of proportioning carbon ratio for 75% ferrosilicon on the recovery percent of silicon

量。坚持混合料加入,减少焦炭烧损,一般配碳量按5%~10%的烧损控制为好,机焦取下限,蓝炭取上限。

3 炉况维护方法的改进

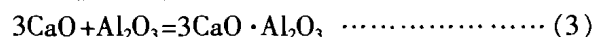
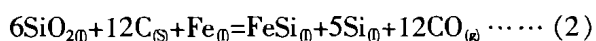
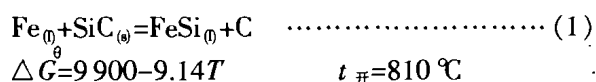
3.1 炉心增碳法

因硅石理化性能较差,该公司在硅铁冶炼中炉料板结,透气性变坏,使还原剂烧损增大,造成炉内反应区还原剂不足,电极难以下插,硅的挥发损失加大,针对这一现象,采用炉心增碳新工艺,利用废旧碳砖或断电极的机械强度好,固定碳高的特性,根据反应(2),把废旧碳砖或断电极破碎成30~50mm粒度,人工加到炉心,通过捣炉使其进入炉内反应区补充还原剂,改善炉料结构,提高 η_{Si} 。

3.2 不定期排渣法

3.2.1 工艺原理

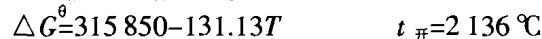
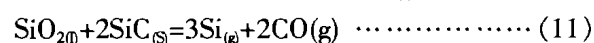
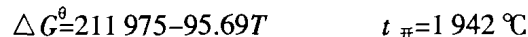
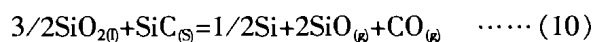
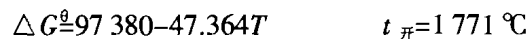
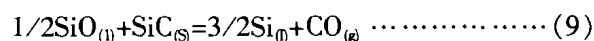
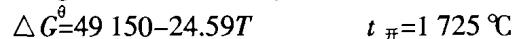
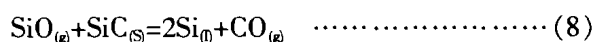
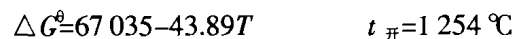
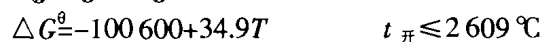
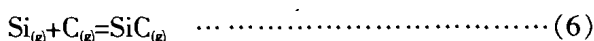
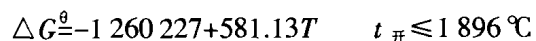
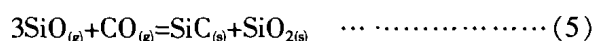
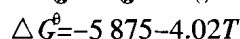
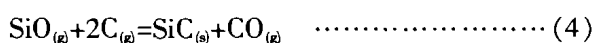
硅铁炉渣的主要成分是SiC、SiO₂、Al₂O₃等,当炉渣中SiC和Al₂O₃增多后,炉渣的熔点升高,粘度增大,出炉排渣不畅通,造成炉底上涨,电极上抬,坩埚缩小,炉况恶化。为了恢复炉况必须消除炉内积渣。以下各反应式为采取相应措施提供了理论依据。



根据反应(1)可将破解转化成FeSi合金,降低炉渣中SiC浓度,根据反应(2)可将SiO₂还原成FeSi合金,减少炉渣量;根据反应(3)可将Al₂O₃熔点和粘度降低,使其在出炉时能顺利排出。

3.2.2 造成SiC渣积存的原因

碳化硅生成和破坏的反应式有:



从反应(4)~(7)可以看出生成SiC的反应比较容易,而从反应(8)~(11)可看出破解SiC的反应比较困难。当硅铁电炉热停炉或系统电压波动时造成电极起伏大,炉内反应区温度降低,或原材料成分发生波动,造成配料比失去准确性,若炉内出现多碳时生成SiC过多,而破解SiC的SiO₂或SiO减少,使SiC破解反应不能充分进行,因而造成SiC在炉底积存。

3.2.3 造成Al₂O₃渣积存的原因

在该公司硅铁电炉原料中硅石品位低,铁屑中杂质和泥沙含量重,使得原料带入较多的Al₂O₃。由于Al₂O₃熔点高(2050℃)、粘度大,降低了炉渣流动性,使出炉排渣困难,所以造成Al₂O₃渣积存。

3.2.4 措施

在炉况发生变化,有积渣时采用铁屑破坏炉内SiC和在料比中配入5~10kg石灰石排出炉内高Al₂O₃渣,当炉内严重积有大量熔融的SiO₂时在附加焦炭的同时也可以附加铁屑,使坩埚内的熔融SiO₂按反应(3)还原成合金,减少渣量,使炉况稳定、顺行。

3.3 合金成分的控制

合金含硅量越高,要求还原温度就越高,对原料质量性能和炉况操作维护要求更高,由于硅石质量性能较差,难以保持较高的炉温,还原反应速度与炉料熔化速度不匹配从而恶化炉况。为了加快还原反应速度,增加配铁量降低硅的还原温度,因此合金含硅量按75%硅铁国际下限控制,即按72% ≤ [Si] ≤ 74%范围控制。

3.4 冶炼操作

在该公司习惯性操作中易造成炉料分层,电极起伏较大,经验性较强,各班操作不统一。为了减少炉况波动,统一操作,坚持混合料加入,维护电极稳

定,加强炉料均匀透气,保持较大坩埚,避免生料进入坩埚内造成三相负荷不平衡,热量分布不均,降低反应速度。

在配电操作中,须密切关注炉况。正常情况下,电极电流几乎全部进入坩埚区,支路电流占很小比例,因此在配电时必须关注三相电极电流和对地电压的平衡,通过观察电极周围火焰和沉料情况判断该相电极放弧做功好坏,若对放弧做功差的某相电极急于下插来增大做功,这样只会增加支路电流,增加热损失,而对进入坩埚区的功率增加很有限,应准确分析原因,如电极结渣或大量生料进入坩埚区,及时与电炉操作工联系加以处理。保持三个坩埚稳定良好的放弧做功状态,保持较高的反应区温度,达到稳定良好的炉况。

4 节能效果及讨论

4.1 节能效果

2003 年该公司 12.5 MVA 硅铁电炉生产炉况稳定良好,生产率提高,电耗大大降低,8~12 月平均电耗($\text{Si} \geq 72\%$)达到 8 142 kWh/t,较 2002 年平均电耗($\text{Si} \geq 72\%$)降低 396 kWh/t,2004 年 1~5 月平均电耗($\text{Si} \geq 72\%$)达到 8 114 kWh/t。

4.2 讨论

4.2.1 由于硅石性能的变化引起炉料结构的改变,炉料比电阻减小,化料快,易于板结,透气性变差,电极难以深插恶化炉况。通过调整电炉参数有利于电极深插,改善了电炉热效率。从电炉操作电阻与热能分配关系 $R_{\text{操}}=C \cdot R_{\text{料}}$ 得知:工艺要求,配热系数要根据炉料结构的改变而调整,在保持良好的热量分配(即合适的配热系数)时,电炉操作电阻 $R_{\text{操}}$ 应与炉料电阻 $R_{\text{料}}$ 按比例降低,从电工学上 $R_{\text{操}}=U_{\text{有效}}/I_{\text{极}}$,通过调整二次电压来达到合适的相电压 $U_{\text{有效}}$ 和 $R_{\text{操}}$ 。极心圆的调整使炉料电阻 $R_{\text{料}}$ 得到一定的提高(炉料电阻 $R_{\text{料}}$ 与极心圆直径 $D_{\text{极}}$ 的关系: $R_{\text{料}} \propto \ln D_{\text{极}}$),有利于降低炉料化料速度,有利于电炉运行在较高的工作电压,得到较好的电效率。

4.2.2 合金成分合理调整,有利于加快炉内 SiC 的破解和 SiO_2 的还原反应,也有利于炼钢终点成分的控制。加入兰炭炉料电阻增加,有利于电极深插,提高炉温,扩大坩埚,加快了炉内反应。硅石合理调配,使炉料透气性有一定改善,熔化速度有一定降低,基本上达到与坩埚区反应速度相匹配,从而减少炉内积渣,改善了炉况,提高了电炉的热效率,提高了 Si 的收得率。

4.2.3 从 C-O-Si 系的平衡(见图 2)可知,炉料配碳量的准确性影响炉内正常反应,配碳量过多,炉内生成 SiC 多,进入坩埚区 SiO_2 不足,形成 SiO 压力过小,降低了 SiC 破解速度,使炉内积 SiC 渣增多,配碳量过少,进入坩埚区 SiO_2 过多,使炉内积存的 SiO_2 炉渣增多,并按反应(12)消耗合金 Si 形成 SiO 压力过大,造成 SiO 挥发损失增加,过多的 SiO 通过料层加热炉料并按反应式(12)的逆反应放热,使炉料形成较多的熔融 SiO_2 造成炉料板结,透气性变差,导电性增强,不利于电极深插。合适的配碳量既保证了炉内正常反应,减少渣量的生成,又能促使电极深插,扩大坩埚,加强炉料预热和按(4)、(5)、(7)式反应,强化 SiO 的捕获(因(4)、(7)反应是强吸热反应),提高电炉热效率和 Si 的收得率。

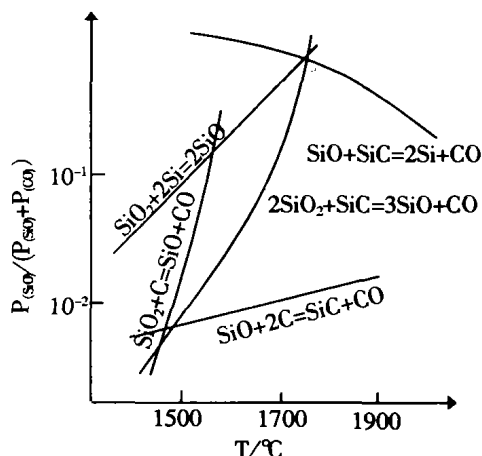
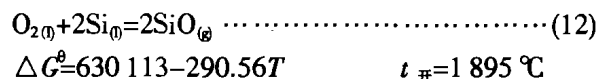


图 2 Si-O-C 系的平衡
Fig.2 The balance of Si-O-C system

及时处理炉内积存的 SiC、 SiO_2 、 Al_2O_3 炉渣,有利于电极深插稳插,尽快恢复炉况正常,通过对炉况的正常把握,采取合理的操作,使炉内坩埚获得更多有效功率,加快炉内还原反应,保持炉况稳定良好,以使电炉获得稳定良好的热效率、电效率,获得高的 Si 收得率。

5 结语

5.1 提高电炉热效率和电效率,提高硅元素的收得率是硅铁生产过程节能最有效的措施,通过电炉参数和原料的优化调配,控制合适的配碳量和合金成分,可起到改善炉况的效果。

5.2 稳定炉况是硅铁生产过程节能的保证措施。根据炉况恶化的不同原因,采取适当的工艺排渣措施,能及时恢复和稳定炉况。